

Steel Box교와 PSC Box교의 LCC 분석에 관한 사례연구

A Case Study on the Life Cycle Cost Analysis of Steel Box Girder and Prestressed Concrete Box Girder Bridge

안 장 원* · 차 강 석** · 김 용 수***

Ahn, Jang-Won* · Cha, Kang-Suk** · Kim, Yong-Su***

요 약

본 연구는 사례연구를 통해서 강박스교와 PSC박스교의 생애주기비용(LCC)을 분석하여 경제성을 평가하는데 목적이 있다. 본 연구에서는 유지관리비를 산출하기 위해 보수 및 교체주기에 대한 설문조사를 실시하였으며, 교량 형식별 LCC 분석 및 비교에는 현재가치법을 이용하였다. 본 연구의 수행 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 사례연구를 통해 강박스교와 PSC박스교의 LCC 분석모형을 제시하였다.
- (2) 설문조사를 실시하여 강박스교와 PSC박스교 부속물의 보수 및 교체주기를 산정하였다.
- (3) LCC 사례연구 결과, PSC박스교가 강박스교보다 경제적인 것으로 분석되었다.

키워드 : LCC, 강박스교, PSC박스교, 보수주기, 교체주기

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교량은 하나의 생산품 측면에서 볼 때, 비교적 긴 생애주기를 가지고 있다. 교량의 생애주기라 함은, 교량의 기획단계부터 완공 후 유지관리 및 해체·폐기처분까지의 전 기간을 의미한다. 생애주기비용(Life Cycle Cost; LCC) 분석은 이 기간 내에 발생하는 총비용에 대한 분석을 의미한다. 이러한 분석방법은 교량의 비용을 초기투자비 관점에서만 다루는 것이 아니라 교량 생애동안의 총비용 관점에서 다루기 때문에 교량의 유지관리 및 비용 절감을 위한 의사결정에 유용하게 사용되어질 수 있다.

미국, 독일, 일본 등 선진국에서는 정부주도로 교량 LCC에 관한 많은 연구들이 수행되었다. Piringer(1993)는 교량의 LCC 분석절차 및 교량형식별 연간 유지관리비용 등에 대한 연구를 수행하였으며, Ehlen은 새로운 공법 및 재료에 대하여 LCC 분석기법을 적용하였고(1997), 설계단계에서 교량 deck의 LCC 분석을 시도하기도 하였다(1999).

Nichikawa(1997)는 기존의 교량과 유지관리를 최소화시킬 수 있는 교량에 대한 LCC를 비교·분석하였다. 이밖에도 교량 LCC에 관한 많은 연구들이 수행되었다. 그러나 국내는 주로 김용수(1994a,b 외 다수), 박태근(1991a,b 외 다수) 등에 의한 공동주택

이나 건축설비 및 기계 등을 연구 대상으로 한 것들이 대부분이며, 공공시설물인 교량을 대상으로 한 연구는 극히 미비한 상태이다.

국내에서 수행된 교량 LCC에 관한 연구들은 조효남(1999)의 “강상판 교량의 Life-Cycle 비용 최적설계시스템 개발”, 김구선(1999)의 “강상형교의 최적 Life Cycle Cost 설계” 등이 있다. 조효남과 김구선의 연구는 강교만을 대상으로 허용응력적용비율의 변화에 따른 초기투자비용과 기대파괴비용의 합으로서 최적 LCC를 산출하고 있지만, LCC 분석시 고려해야할 할인율, 분석기간 등은 고려하지 않고 있다. 그러나 본 연구는 강박스교와 PSC박스교를 대상으로 체계적인 LCC 분석절차에 따라 교량 LCC 분석모형을 제시하고자 하며, 이러한 배경하에서 수행된 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- (1) 교량 LCC의 비용항목들을 도출하고, 분석모형을 제시한다.
- (2) 설문조사를 실시하여 사례교량(강박스교, PSC박스교) 부속물의 적정 보수주기, 교체주기를 조사하고, 조사된 자료를 이용하여 보수·보강비를 예측한다.
- (3) 교량 LCC 분석모형을 사례교량에 적용하여 LCC를 예측하고, LCC를 근거로 하여 사례교량의 경제성을 비교·검토한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 교량 상부구조에 대한 LCC 분석모형을 개발하여 사례대상에 적용함으로써 LCC를 예측·비교하는데 있다. 사례대상은 공용중인 교량 가운데 다수인 교량형식과, 최근 설계 추세(설계전문가 면담)를 반영하여 강박스교와 PSC박스교를 선정하였다. 연구의 수행절차는 그림 1과 같다.

* 학생회원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정
 ** 중앙대학교 대학원 건축설계학과 졸업, 공학석사
 *** 정회원, 중앙대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

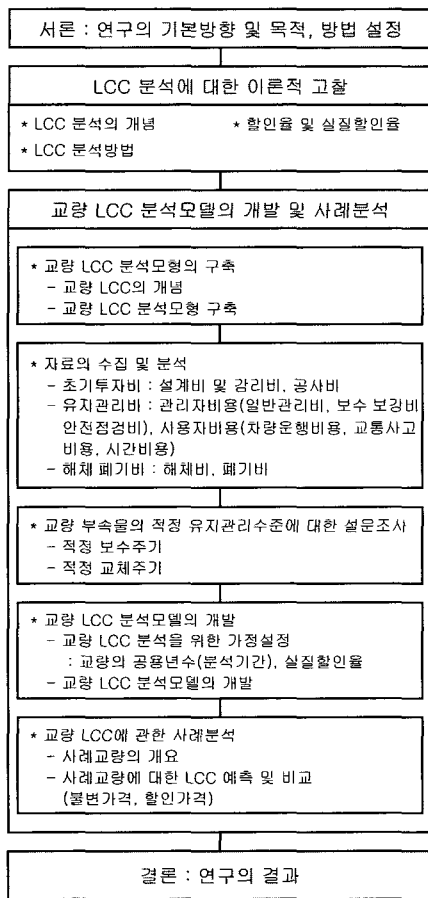


그림 1 연구수행절차

2. LCC 분석의 개념 및 내용

2.1 LCC 분석의 개념

김용수(1998)는 시설물(건축물)의 Life Cycle Cost(LCC; 생애주기비용)은 시설물의 생애주기 동안에 발생하는 모든 비용 즉, 기획, 설계, 시공, 운영 및 폐기처분 등에 소요되는 전체비용의 총합을 의미한다고 정의하였다.¹⁾ 나아가 Life Cycle Costing(LCCing)은 시설물 투자에 관한 보다 효과적인 의사결정을 위하여 LCC에 근거한 제반 경제적 평가를 가리킨다. 이러한 측면에서 Life Cycle Costing 기법은 시설물의 설계, 시공단계뿐만 아니라 전체 사용기간 동안의 전략적 의사결정을 위한 필수적 관리기법 중의 하나이다.

이러한 LCC의 개념에 따라 LCCing 기법은 생애주기를 갖고 있는 어떠한 하드웨어 시스템(예: 빌딩, 기계 ...)이나 소프트웨어 시스템(예: 컴퓨터 프로그램 ...)에도 적용될 수 있다. 건설분야의 경우 주로 하드웨어 시스템에 적용되는데, 토목의 경우 각

종 토목구조물 또는 구조물의 각 부위(부속물) 들이 주요 대상이 된다.

2.2 할인율 및 실질할인율

할인율(이자율)은 과거의 도매 및 소매물가지수의 변동추이와 시중은행 예금금리의 변동추이를 동시에 고려하여 미래에 대해 추정하는 것이 일반적이다. 정밀계산을 위해서는 해당비용의 성격에 따라 도매물가지수, 건설공사비지수, 건설자재 도매물가지수, 건설노임지수 등을 선별하여 고려해야 한다.²⁾

LCC 분석에서는 물가상승율과 이자율을 동시에 고려하여 하나의 실질할인율로 나타내고, 이 실질할인율을 이용하여 미래에 발생하는 금액을 현재의 가치로, 또는 현재의 금액을 미래의 가치로 등가환산한다. 이때 물가상승율과 이자율에 의한 실질할인율을 산출하는 방법은 다음 (1)식과 같다.

$$i = \frac{1+i'}{1+j} - 1 \quad (1)$$

여기서, i = 실질할인율, i' = 이자율, j = 물가상승율

2.3 LCC의 통합 및 비교방법

LCC를 통합·비교하는 대표적인 방법으로는 현재가치법과 연등가액법³⁾이 있으나 본 연구에서는 현재가치법에 의해 LCC를 통합·비교하고자 한다.

현재가치법은 시설물의 생애주기에 발생하는 모든 비용을 현재시점으로 환산하는 방법이며, 현재가치법에 의한 현재가치는 (2), (3)식으로 표현된다.

매년 동일하게 반복하여 발생하는 반복비용(A)에 대한 현재가치(P)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{A}{1+i} + \dots + \frac{A}{(1+i)^n} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \times A \quad (2)$$

여기서, i : 할인율 n : 분석기간

한편, n 년 후에 1회만 발생하는 비반복비용(F)에 대한 현재가치(P)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{1}{(1+i)^n} \times F \quad (3)$$

2) 오영인(1992) "Life Cycle Cost 기법을 이용한 공동주택의 경제성분석에 관한 연구", 서울시립대학교 산업대학원 석사학위논문, pp.40-42.

3) Life Cycle 동안에 발생하는 모든 Cash Flow를 현재의 시점으로 환산한 후 다시 Life Cycle 동안의 연등가액으로 환산하는 방법.

1) 김용수(1998) 건축물의 라이프 사이클 코스팅-방법과 활용, 그리고 문제점. 월간 건축, 대한건축학회, pp.48- 55.

3. 교량 LCC 분석모델 개발 및 사례분석

3.1 교량 LCC 분석모형의 구축

3.1.1 교량 LCC의 개념

모든 교량은 기획·설계 및 건설공사로 구분되는 초기투자단계를 지나 운용비용, 폐기비용 및 개축단계로 이어지는 일련의 P-D-C-A(plan-do-check-action: 계획-실시-검토-조치) 과정을 거치게 된다. 이를 생애주기(Life Cycle)라고 하며 이 기간동안에 교량에 투입되는 비용의 합계를 생애주기비용(Life Cycle Cost; 이하 LCC)라 한다. 즉 LCC란 재료의 구입, 운영, 유지관리, 그리고 총비용의 관점에서 가장 경제적인 대안을 선택하기 위한 일종의 경제성 평가기법을 의미한다.

그림 2⁴⁾는 교량 생애주기의 특징을 나타낸 것으로서, 교량의 공용년수⁵⁾는 적절한 보수·보강을 수행함에 따라 성능이 뚜렷이 개선될 뿐만 아니라 교량의 공용수명을 연장할 수 있다. 그러므로 어느 시점에서 어떻게 보수·보강을 시행할지를 결정하는 것이 매우 중요하다.

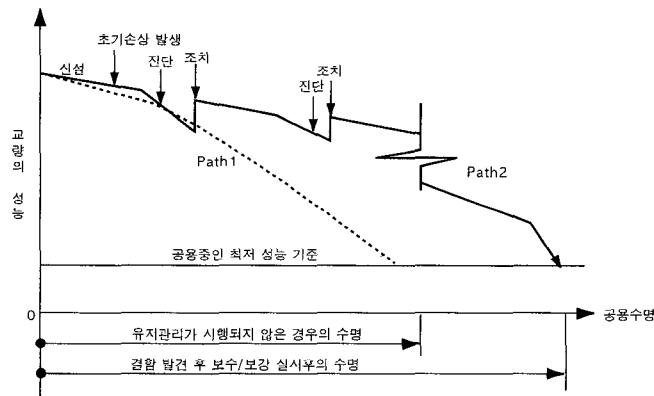


그림 2 교량의 유지관리 조치와 Life Cycle의 상관관계

표 1 교량 LCC 분석모형

구 성 항 목		세 부 항 목
초기 투자비		- 설계비
		- 공사비
		- 감리비
유지관리비	관리비용	- 일반관리비
		- 보수비(일상수선비 포함)·보강비(확장공사 포함)
		- 점검비(정밀안전진단, 정밀점검, 정기점검 포함)
	사용비용	- 차량운행비용(교통흐름에 따른 우회비)
		- 교통사고비용(교통사고비, 통행지연비 포함)
	- 시간비용	
해체·폐기비		- 해체비용(기계손료 등 제외)
		- 건설폐기비용

4) 차강석, Life Cycle Cost 기법을 이용한 교량상부구조의 형식에 따른 경제성 분석에 관한 연구. 석사학위논문, 중앙대학교, 2000, p.29.

5) 교량이 준공된 후 폐기될 때까지의 수명.

3.1.2 교량 LCC 분석모형 구축

본 연구에서 수행하고자 하는 교량의 상부구조에 대한 LCC 분석모형은 표 1과 같다.

3.2 자료의 수집 및 분석

3.2.1 초기투자비

(1) 설계비 및 감리비

일반적으로 설계비 및 감리비는 건설비의 규모에 따라 엔지니어링사업대가기준⁶⁾의 건설부분의 업무별 요율을 적용하여 산출되며, 본 연구에서도 요율을 적용하여 설계비 및 감리비를 산출하고자 한다.

(2) 공사비

공사비는 재정부에서 정한 '원가계산에의한예정가격작성준칙'에 의한 공사원가 계산에 따라 산출되며, 이렇게 산출된 금액은 직접공사비와 간접공사비를 합한 것이다.

3.2.2 유지관리비

(1) 관리자비용

관리자비용은 사용중인 교량의 기능을 보전하고 교량 이용자의 편의와 안전을 위하여, 교량을 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과시간에 따라 요구되는 교량의 개량·보수·보강에 필요한 활동을 하는데 소요되는 비용이다.

① 일반관리비

일반관리비의 가장 중요한 항목은 인건비이다. 그런데 교량의 관리를 담당하는 인원은 각 관리기관 및 지역마다 큰 차이를 나타내고 있다. 한강에 있는 교량인 경우 1인 1교량으로 되어 있으며, 지방국토관리청 산하 국도유지사무소의 경우 수원은 5인에 130개소, 대구는 10인에 109개소 등으로 매우 큰 차이가 있다. 따라서 특정교량 하나에 대한 일반관리비를 분류하기는 현실적으로 어렵기 때문에 본 연구에서는 이 항목을 제외하였다.

② 보수·보강비

교량의 보수·보강비는 일반적으로 년차사업으로 소요되는 비용을 예산에 반영하여 보수·보강이 필요한 교량 중 우선순위를 두어 집행한다.

그러나 본 연구에서는 적정 유지관리수준에서의 보수·보강비 산출을 위해 강박교(50개소)와 PSC박교(25개소)의 정밀안전진단보고서를 분석하여 평균보수율을 산출하였다. 평균보수율은 교량 부속물의 총 물량에 대한 보수물량의 평균(mean)을 구하여 보수율로 가정하였다. 강박교와 PSC박교 각 부속물의 보수율은 표 2, 표 3과 같다.

6) 과학기술부공고 제99-79호 엔지니어링사업대가기준 제2장 제7조 "요율".

표 2 강박스교 부속물의 보수율

(단위:%)

유지관리항목	mean	median	max	min	range	SD
신축이음	76	100	100	10	90	32.8
난간 및 연석	34	6	100	0.1	99.9	43.0
방호벽	14	4	50	0.3	49.7	18.3
교좌장치	45	39	100	5	95	31.5
포장	7	1	100	0.01	99.99	21.2
강박스 도장	47	11	100	0.1	99.9	50.5
강박스	7	5	30	0.2	29.8	8.1
배수시설	56	50	100	1.0	99	35.1

주: 강박스의 보수작업은 균열에 관한 것임.

표 3 PSC박스교 부속물의 보수율

(단위:%)

유지관리항목	mean	median	max	min	range	SD
신축이음	67	64	100	5.8	94.2	33.1
난간 및 연석	78	100	100	33.7	66.3	38.3
방호벽	78	100	100	33.7	66.3	38.3
교좌장치	48	34	100	1.9	98.1	34.6
포장	1	1	1	0.01	0.99	0.4
PSC 박스	7	5	15	0.7	14.3	4.6
배수시설	66	84	100	6.7	93.3	40.0

③ 안전점검비

현재 국내 교량의 안전점검시기는 정기점검은 반기별 1회, 정밀점검은 2년에 1회, 정밀안전진단은 준공 10년 후 5년에 1회 이상으로 정해져 있다.⁷⁾

안전점검비용은 시설물의안전관리에관한특별법 제6조 및 동법시행령 제8조의 규정에 의한 안전점검 및 정밀안전진단대가(비용산정)기준 제5조, 제8조에 근거하여 산출하며, 표 4, 표 5는 제5조 관련규정을 요약한 것이다.

표 4 교량 점검에 대한 직업인건비 기준인원수

기 준 규 격	정밀안전진단		정밀점검		정기점검		
	전체	외업	전체	외업	전체	외업	
도로교, 콘크리트구조, 4차선	300m	158	50	22	18	11	9
	500m	174	65	26	22	13	11
	1000m	212	104	32	28	16	14
	2000m	290	182	46	42	23	21

*주: 본 연구의 사례교량으로 적용한 연장은 1000m임.

표 5 시설물별 조정비

(1) 차선별 조정		(2) 용도별 조정		(3) 구조형식별 조정	
차선수	조정비	용도	조정비	구조형식	조정비
2차선	0.75	도로교	1.00	콘크리트교	1.00
4차선	1.00	시가지도로교	1.10	강교	1.10
6차선	1.15	일반철도	1.30	특수교	1.30
8차선	1.30	도시(고속)도로	1.50		

*주: 구조형식별 조정에서 PSC박스교와 강교가 차이가 있음.
PSC박스교 1.0 적용, 강박스교 1.1 적용.

안전점검 및 정밀안전진단대가기준 제8조에서는 직접경비 대가기준을 다음 항목에 대하여 규정하고 있다.

- 여비 및 현장 체제비
- 차량 운행비
- 현지보조인부의 노임
- 위험수당
- 기계·기구 손료
- 보고서 등 인쇄비

(2) 사용자비용

사용자비용은 교량의 사용자가 교량을 정상적으로 통행하지 못하게 되었을 때 추가적으로 지불하는 비용의 합이다. 사용자비용은 교량의 기능적 또는 구조적 결함에 의해 추가로 발생하는 차량운행비용과 교통사고비용, 시간비용 등으로 구성된다. 그러나 본 연구에서는 유지관리비 산출시 사용자비용은 고려하지 않는 것으로 제한한다.

① 차량운행비용

차량운행비용은 크게 고정비용과 가변비용으로 구분된다. 고정비용은 차량의 운행여부와는 관계없이 차량을 소유하면서부터 발생하는 비용을 의미하는 것으로서 차량의 감가상각비, 보험금 등이 있다. 가변비용은 차량의 운행으로 인하여 발생하는 비용으로서 연료소모비, 엔진오일비 등이 있으며 이들 비용은 차량의 속도, 중량, 도로여건에 따라 변화하는 비용이다.⁸⁾

② 교통사고비용

교통사고비용은 차량을 운행하면서 발생하는 위험율에 대한 비용으로써 교통사고 통계에 근거하여 km당 비용으로 나타낸다.

③ 시간비용

시간비용은 통행시간을 경제적 재화와 마찬가지로 화폐가치로, 즉 시간을 비용으로 환산시키는 개념이다. 예를 들면 통행자의 임금 수준, 이용경로나 교통수단의 선택 등을 기준으로 평가하는 여객시간가치, 화물의 품목에 따른 시간가치를 평가하는 화물시간가치 등이 있다.⁹⁾

3.2.3 해체·폐기비

해체·폐기비는 교량 해체 전문회사와 전국건설폐기물처리공제조합의 자료를 근거로 하여 해체·폐기비용을 산출하였다. 그리고 본 연구에서는 교량폐기로 인한 재활용 이익 및 잔존가치는 고려하지 않았다.

3.3 교량 부속물의 적정 유지관리수준에 대한 설문조사

본 연구에서는 교량 부속물의 적정 유지관리에 요구되는 보수주기와 교체주기를 산정하기 위해 80개의 교량관리사업소 및 교량관리처를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 또한 설문조사결과에서 잘 조사되지 않은 부분(강박스교의 도장, 강박스교 및

8) 교통개발연구원(1998) 차량운행비의 산정.

9) 한국건설기술연구원(1999) '98교량관리체계개선에 관한 연구. 건설교통부, pp.241-258.

7) 건설교통부(1999) 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령.

PSC박스교의 방호벽)에 대해서는 추가로 교량설계업체(3개)와 유지관리업체(7개)의 전문가의 면담조사결과를 이용하였다.

3.3.1 적정 보수주기

강박스교 및 PSC박스교의 적정 보수주기에 대한 설문 및 면담조사결과는 표 6, 표 7과 같다.

표 6 강박스교 부속물의 보수주기 (단위:년)

유지관리항목	case	mean	median	max	min	range	SD
신축이음	36	5.4	5	30	2	28	5.7
난간 및 연석	36	12.4	10	50	1	49	11.3
방호벽	10	10.0	10	15	5	10	3.2
교좌장치	35	14.2	10	50	2	48	14.1
포장	39	6.2	5	30	2	28	6.4
강박스 도장	-	10.0	-	-	-	-	-
강박스	36	9.3	6	30	2	28	7.8
배수시설	38	9.3	5	30	1	29	8.5

표 7 PSC박스교 부속물의 보수주기 (단위:년)

유지관리항목	case	mean	median	max	min	range	SD
신축이음	37	4.7	4	15	2	13	3.0
난간 및 연석	36	11.0	10	40	1	39	9.5
방호벽	-	10.0	-	-	-	-	-
교좌장치	37	13.3	10	50	2	48	13.4
포장	41	4.7	4	20	2	18	3.5
PSC 박스	36	21.7	15	50	5	45	13.6
배수시설	38	8.6	5	30	1	19	7.3

3.3.2 적정 교체주기

강박스교 및 PSC박스교의 적정 교체주기에 대한 설문 및 면담조사결과는 표 8, 표 9와 같다.

표 8 강박스교 부속물의 교체주기 (단위:년)

유지관리항목	case	mean	median	max	min	range	SD
신축이음	41	7.3	5	30	2	28	5.3
난간 및 연석	32	24.5	20	50	8	42	12.2
방호벽	10	15.0	20	30	10	20	3.7
교좌장치	40	25.2	20	50	5	45	14.5
포장	42	9.5	9	30	2	28	7.7
강박스	31	41.9	50	70	20	50	10.8
배수시설	32	21.4	20	50	10	40	11.7

표 9 PSC박스교 부속물의 교체주기 (단위:년)

유지관리항목	case	mean	median	max	min	range	SD
신축이음	41	6.4	5	15	2	13	3.4
난간 및 연석	33	22.0	20	30	3	47	12.2
방호벽	10	15.0	20	30	10	20	3.7
교좌장치	34	25.7	20	50	5	45	15.0
포장	42	8.0	6	30	2	28	6.0
PSC박스	39	46.7	40	70	20	50	10.8
배수시설	33	18.9	20	40	10	30	10.3

3.4 교량 LCC 분석모델의 개발

3.4.1 교량 LCC 분석을 위한 가정설정

(1) 교량의 공용년수

교량의 공용년수는 일반적으로 100년으로 알려져 있으나, 독일의 경우는 설계교량의 수명을 100년으로 보고 있으며, 영국¹⁰⁾의 경우는 120년, 일본은 50년이다. 교량 형식별로 교량 설계수명을 달리한 경우도 있는데, 자료에 의하면 철근 콘크리트교는 70년, PSC교는 70년, 강교는 80년, 합성교는 70년이라고 이론적 수명을 제시하는 경우도 있다.¹¹⁾ 한편 국내에서는 한국 감정원(유형고정자산 내용년수표, 1999)에서 콘크리트교는 45-50년, 강교는 40년으로 규정하고 있다.¹²⁾ 본 연구에서는 문헌연구결과와 설계전문가의 면담조사결과(설계시 강박스교와 PSC박스교의 설계수명을 50년으로 설정)를 고려하여 공용년수를 50년으로 가정하여 LCC를 분석하였다.

(2) 실질할인율

본 연구에서는 한국은행의 자료에 의한 은행시중금리(이자율) 및 통계청의 자료에 의한 물가상승율을 고려한 실질할인율을 적용하여 LCC를 분석하고자 하였다. 따라서 1993년부터 1999년까지의 실질할인율의 평균 4.51%의 근사치인 4.5%를 적용하였다.

3.4.2 교량 LCC 분석모델의 개발

앞서 수집된 교량 LCC 구성항목에 대한 자료를 바탕으로 LCC 분석모델을 구성하면 그림 3과 같다.

교량의 LCC는 초기투자비(설계비, 공사비, 감리비), 유지관리비(관리자비용, 사용자비용), 해체·폐기비(해체비, 폐기비)에 대하여 가정된 분석기간과 할인율을 적용하여 예측한다.

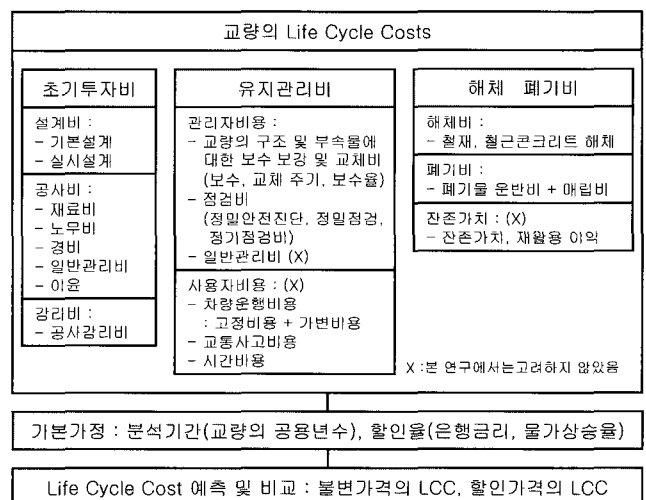


그림 3 교량 Life Cycle Cost 분석모델

10) Holland, D. A.(1993) Design of bridge for durability and maintenance.

11) Harding, J. E, et al. (1993) Bridge management 2, p.590.

12) 건설기술연구원(1995) 교량관리체계개선. 건설교통부, p.147.

3.5 교량 LCC에 관한 사례분석

3.5.1 사례교량의 개요

사례대상 교량인 강박스교와 PSC박스교(FSM공법)는 설계하중이 DB24, 준공연도가 1981년으로 동일하며 사례교량의 제원을 비교하면 표 10과 같다.

표 10 사례교량의 제원

구분	강박스교	PSC박스교
교장(a)	1,000m	1,126m
총폭	23.9m	26.7m
유효폭(b)	23.1m	25.9m
교고	8.2m	5m
경간수	20개	13개
차로수	4차로	4차로
최대경간장	100m	125m

*주: 본 연구에서 m²당 비용은 각 공종별로 구한 초기투자비를 교장(a)×유효폭(b)로 나누어 산출하였다.
(강박스교: 23,100m², PSC박스교: 29,163.4m²)

표 10에 의하면 두 교량의 상부구조(교장, 유효폭, 총폭)는 매우 비슷하다. 그러나 기초, 교각, 교대로 이루어진 하부구조의 경우, 교각의 높이에서도 차이(강박스교가 PSC박스교의 1.64배임)가 나며 두 교량의 가설위치에 따른 토질이나 지반, 유속 등이 다른 관계로 하부구조에 미치는 영향이 상이하여 기초, 교각, 교대의 크기가 다르다. 따라서 본 연구에서는 LCC 분석시 하부구조를 제외하였다.

3.5.2 사례교량에 대한 LCC 분석

본 연구에서는 LCC 항목 가운데 유지관리비 산출시 사용자비용은 교량량의 정확한 예측이 어려워 고려하지 않는 것으로 제한하였다. 또한 교량의 폐기 및 재활용을 통한 이익으로 인하여 발생하는 잔존가치는 LCC에서 차지하는 비율이 크지 않을 것으로 판단하여 고려하지 않는 것으로 제한하였다.

본 연구에서 사용하는 모든 비용(불변가격, 할인가격)의 발생시점은 1999년을 기준으로 하여 산출한 것이다. 그리고 사례교

량의 비교를 위해 기본 단위로써 원/m²로 통일하였으며, 이 단위는 한국도로공사, 강구조협회 등 많은 기관에서 교량의 건설 평균단가를 산정할 때 사용하는 것이다. 또한 유지관리단계에서의 안전점검비와 보수·교체비에 대한 분석은 Microsoft사의 Excel프로그램을 사용하였다.

(1) 초기투자비

① 설계비 및 감리비

사례교량의 설계비 및 감리비는 상부구조 공사비(표 11 참조)에 대하여 효율을 적용하여 산출하였다. 산출결과, 강박스교의 설계비는 579,756,132원(효율 3.66%적용), 감리비는 213,844,475원(1.35%)이 소요되며, PSC박스교의 설계비는 504,378,749원(3.66%), 감리비는 186,041,341원(1.35%)이 소요되는 것으로 나타났다. 사례교량의 설계비 및 감리비(m²당 비용)를 합계하여 산출한 결과 강박스교(34,355원/m²)가 PSC박스교(23,674원/m²)에 비해 10,681원/m²이 더 소요되는 것으로 분석되었다.

② 공사비

사례교량의 상부구조에 대한 공사비를 산출한 결과는 표 11과 같다.

표 11 사례교량의 공사비

공종명	강박스교		PSC박스교	
	비용(원)	구성비(%)	비용(원)	구성비(%)
신축이음공사	73,034,400	0.46	294,199,401	2.13
난간 및 연석공사	106,107,144	0.67	162,450,860	1.18
방호벽공사	68,840,510	0.43	40,897,445	0.30
교좌장치공사	739,987,601	4.67	1,127,759,250	8.18
포장공사	487,530,722	3.08	1,035,193,869	7.51
강박스공사	14,359,309,205	90.65	-	-
PSC박스공사	-	-	11,117,015,811	80.67
배수시설공사	5,521,933	0.03	3,323,499	0.03
총비용	15,840,331,515	100	13,780,840,135	100
m ² 당 비용	685,729		472,538	

표 12 공용년수 동안 요구되는 적정 보수·보강비(1999년 기준 불변가격)

공종명	강박스교			PSC박스교		
	교체비(a) (원)	보수비(b) (원)	보수·보강비(a)+(b) (원)	교체비(a) (원)	보수비(b) (원)	보수·보강비(a)+(b) (원)
신축이음공사	438,206,400	333,036,864	771,243,264	2,353,595,208	1,774,022,388	4,127,617,596
난간 및 연석공사	106,107,144	108,229,287	214,336,431	324,901,720	253,423,342	578,325,062
방호벽공사	206,521,530	28,913,014	235,434,544	122,692,335	95,700,019	218,392,351
교좌장치공사	739,987,601	998,983,261	1,738,970,862	1,127,759,250	1,082,648,880	2,210,408,130
포장공사	2,437,635,610	204,762,903	2,642,416,513	6,211,163,214	72,463,571	6,283,626,785
강박스	도장공사	-	3,391,940,547	3,391,940,547	-	-
	제작공사	-	4,394,279,929	4,394,279,929	-	-
PSC박스공사	-	-	-	-	1,556,382,214	1,556,382,214
배수시설공사	11,043,866	15,461,412	26,505,278	6,646,998	13,161,056	19,808,054
합계	3,939,520,151	9,475,607,217	13,415,127,368	10,146,758,725	4,847,801,469	14,994,560,192
m ² 당 비용(원/m ²)	170,542	410,199	580,741	347,928	166,229	514,157

표 13 공용년수 동안 요구되는 적정 보수·보강비(1999년 기준 할인가격)

공 종 명	강박스교			PSC박스교		
	교체비(a) (원)	보수비(b) (원)	보수·보강비(a)+(b) (원)	교체비(a) (원)	보수비(b) (원)	보수·보강비(a)+(b) (원)
신축이음공사	170,524,671	130,772,609	301,297,280	820,090,214	674,902,854	1,494,993,068
난간 및 연석공사	36,893,823	33,031,208	69,925,031	85,103,725	107,726,454	192,830,179
방호벽공사	63,449,253	11,859,147	75,308,401	37,694,554	39,252,934	76,947,487
교좌장치공사	246,216,516	329,326,092	575,542,608	375,240,008	402,711,352	777,951,360
포장공사	864,581,478	76,806,601	941,388,079	2,030,829,394	26,962,012	2,057,791,406
강박스	도장공사	-	1,269,857,113	-	-	-
	제작공사	-	1,558,553,283	-	-	-
PSC박스공사	-	-	-	-	431,295,057	431,295,057
배수시설공사	3,060,408	5,483,819	8,544,227	2,186,293	4,568,387	6,754,680
합 계	1,384,726,149	3,415,689,873	4,800,416,022	3,351,144,187	1,687,419,049	5,038,563,237
㎡당 비용	59,945	147,865	207,810	114,909	57,861	172,770

사례교량의 공사비(㎡당 비용) 산출 결과, 강박스교(685,729 원/㎡)가 PSC박스교(472,538원/㎡)에 비해 213,191원/㎡이 더 소요되는 것으로 분석되었다.

(2) 유지관리비

① 보수·보강비(교체비 포함)

적정 유지관리수준에서의 보수·보강비는 표 2, 표 3, 표 6~표 9의 강박스교 및 PSC박스교 부속물의 보수율, 보수 및 교체 주기를 이용하여 산출하였다. 교량의 공용년수를 50년, 실질할인율을 4.5%를 적용하여 보수·보강비의 불변가격 및 할인가격(1999년 기준)으로 예측한 결과는 표 12, 표 13과 같다.

표 12, 표 13에 의하면, 보수·보강비(㎡당 비용)에 대하여 불변가격 및 할인가격(1999년 기준)으로 예측한 결과 PSC박스교가 강박스교보다 경제적인 것으로 분석되었다.

② 안전점검비

시설물안전관리에관한특별법에서 규정한 대가산정방법에 따라 사례교량의 1회 점검시의 정밀안전진단, 정밀점검, 정기점검 비용을 산출하면 표 14와 같다.

표 14 사례교량의 안전점검비(1회 점검시)

구분	정밀안전진단비	정밀점검비	정기점검비
강박스교	85,160,200	14,066,749	7,335,875
PSC박스교	77,418,364	12,787,954	6,668,999

*주 : 강박스교(강교)의 안전점검비는 시설물별 조정비에 따라 PSC박스교(콘크리트교)의 안전점검비에 1.1배한 것임.

정기점검은 반기별 1회, 정밀점검은 2년에 1회, 정밀안전진단은 준공 10년 후부터 5년에 1회 실시하는 것으로 가정하여 사례교량의 공용년수 동안의 안전점검비를 예측하면 표 15와 같다.

안전점검비 산출시 강교는 콘크리트교의 안전점검비에 1.1배하여 산출하므로 표 15에서도 강박스교가 PSC박스교보다 안전점검비가 더 소요되는 것을 알 수 있다.

(3) 해체·폐기비

사례교량의 해체·폐기비에 대한 불변가격 및 할인가격으로

표 15 공용년수 동안의 안전점검비

(단위:원)

구 분	강박스교	PSC박스교	
정밀안전진단비	불변가격	596,121,403	541,928,548
	할인가격	175,204,771	159,113,429
정밀점검비	불변가격	295,401,737	268,547,034
	할인가격	121,036,342	110,033,038
정기점검비	불변가격	322,778,487	293,434,988
	할인가격	133,547,217	121,406,561
안전점검비 합계	불변가격	1,214,301,627	1,103,910,570
	원/㎡	52,567	37,852
	할인가격	429,608,331	390,553,028
	원/㎡	18,597	13,391

*주 : 교량의 공용년수 50년, 실질할인율 4.5% 적용.

표 16 사례교량의 해체·폐기비

구 분	강박스교(원)	PSC박스교(원)	
해체비	철골해체, 철근콘크리트깨기	1,256,862,770	2,617,332,672
	철재난간제거	5,160,000	7,900,000
	교면포장제거	16,609,320	28,518,480
	소 계	1,278,632,090	2,653,751,152
폐기비	순수 페콘크리트	-	274,361,316
	페아스콘	292,849,039	381,329,046
	소 계	292,849,039	655,690,362
총합계 (불변가격)	1,571,481,129	3,309,441,514	
총합계 (할인가격)	173,978,126	366,387,112	

예측한 결과는 표 16과 같다.

표 16의 해체·폐기비 산출결과에 대하여 ㎡당 비용으로 산출하면, 불변가격의 경우에는 강박스교 68,029원/㎡, PSC박스교 113,479원/㎡, 할인가격(1999년 기준)의 경우에는 강박스교 7,531원/㎡, PSC박스교 12,563원/㎡이 소요되는 것으로 분석된다. 따라서 해체·폐기비는 강박스교가 PSC박스교보다 경제적인 것으로 분석되었다.

(4) 사례교량의 LCC 예측

앞서 산출한 각 단계별 비용을 합산하여 LCC를 예측한 결과는 표 17, 표 18과 같다.

표 17 사례교량의 불변가격 LCC 예측결과

구 분		불변가격(원/㎡)	
		강박스교	PSC박스교
초기투자비	설계비 및 감리비	34,355 (2.42%)	23,674 (2.04%)
	공사비	685,729 (48.24%)	472,538 (40.68%)
유지관리비	보수·보강비	580,741 (40.86%)	514,157 (44.26%)
	안전점검비	52,567 (3.70%)	37,852 (3.26%)
해체·폐기비		68,029 (4.79%)	113,479 (9.77%)
LCC 합계		1,421,421 (100%)	1,161,700 (100%)

*주: 999년도 기준, 공용년수 50년 적용, 괄호안은 구성비율임.

표 18 사례교량의 할인가격 LCC 예측결과

구 분		할인가격(원/㎡)	
		강박스교	PSC박스교
초기투자비	설계비 및 감리비	34,355 (3.60%)	23,674 (3.41%)
	공사비	685,729 (71.88%)	472,538 (68.00%)
유지관리비	보수·보강비	207,810 (21.78%)	172,770 (24.86%)
	안전점검비	18,597 (1.95%)	13,391 (1.93%)
해체·폐기비		7,531 (0.79%)	12,563 (1.81%)
LCC 합계		954,022 (100%)	694,936 (100%)

*주: 1) 1999년도 기준, 실질할인율 4.5%, 공용년수 50년 적용, 괄호안은 구성비율임.

사례교량에 대한 LCC를 불변가격으로 예측한 결과 강박스교(1,421,421원/㎡)가 PSC박스교(1,161,700원/㎡)보다 259,721원/㎡이 더 소요되는 것으로 분석되었다. 그리고 할인가격으로 예측한 결과 강박스교(954,022원/㎡)가 PSC박스교(694,936원/㎡)보다 259,086원/㎡이 더 소요되는 것으로 분석되었으므로, 사례교량의 경우에는 PSC박스교가 강박스교보다 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구는 교량 상부구조형식 가운데 강박스교와 PSC박스교의 공용년수 동안 발생하는 생애주기비용(LCC) 분석모델의 개발을 시도하였다. 그리고 개발된 LCC 분석모델을 사례대상 교량에 적용하는 사례연구를 실시하여 LCC를 근거로 한 경제성을 비교하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 강박스교와 PSC박스교의 생애주기 전 단계를 고려한 LCC 분석모델을 개발하였으며, 개발된 LCC 분석모델은 강박스교와 PSC박스교 외의 다른 교량형식에도 적용 및 응용이 가능하다.

(2) LCC 구성항목 가운데 유지관리비에 속하는 보수·보강비를 산출하기 위해서 보수 및 교체주기에 대한 설문조사를 실시하였다. 설문조사결과에 따라 보수 및 교체주기를 산정하였으며, 설문조사에서 조사되지 않은 부분은 전문가 면담조사에 의한 결과를 반영하였다.

(3) 분석기간을 50년, 실질할인율을 4.5%로 가정하여 강박스교와 PSC박스교의 LCC를 예측한 결과 PSC박스교가 경제적인 것으로 나타났다.

LCC는 현재와 미래에 발생하게 될 모든 비용의 합계이므로 미래에 대한 예측이 매우 중요하게 되며, 본 연구의 대상인 교량도 완공 후 공용년수 동안 발생하는 유지관리비의 예측이 교량 LCC의 예측에 중요한 변수가 된다.

본 연구에서는 기존 교량의 유지보수이력 정보를 통해 교량 부속물의 적정 유지관리에 요구되는 보수주기와 교체주기를 산정하기 어려운 점이 있어 설문조사 및 전문가 면담조사를 실시하였다. 그리고 정밀안전진단보고서를 분석하여 평균보수율을 추정하였다. 이렇게 조사된 교량 부속물의 보수 및 교체주기, 평균보수율을 이용하여 적정 유지관리에 요구되는 교량의 보수·보강비를 산출하였다.

향후 교량의 LCC 분석을 위해서는 본 연구에서 고려하지 않은 사용자비용 및 해체·폐기시의 잔존가치에 관한 연구들이 수행되어야 할 것이다. 또한 LCC는 미래의 비용을 예측하기 위해 분석기간 및 할인율에 대한 가정을 동반하므로, 적정 분석기간의 설정 및 할인율의 변화에 따른 민감도 분석에 관한 연구도 필수적으로 요구된다.

참고문헌

1. 김용수, 김성수, 신현식, 시뮬레이션 모델을 이용한 근린 사무소건물의 Life Cycle Cost 예측 및 수선교체 전략에 관한 사례연구(1). 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제10권2호, pp.191-221, 1994.
2. 김용수, 건축물의 라이프 사이클 코스팅-방법과 활용, 그리고 문제점. 월간 건축, 대한건축학회, pp.48-55, 1998.
3. 김용수, 아파트건물의 수명주기비용 예측을 위한 운영관리비 분석 및 예측모델의 개발. 대한건축학회논문집구조계, 대한건축학회, 제14권10호, pp.105-112, 1998.
4. 시설안전기술공단, 예산편성기준작성용역 성과보고서, 1996.
5. 오영인, Life Cycle Cost 기법을 이용한 공동주택의 경제성 분석에 관한 연구. 석사학위논문, 서울시립대학교 산업대학원, 1992.
6. 차강석, Life Cycle Cost 기법을 이용한 교량상부구조의 형식에 따른 경제성 분석에 관한 연구. 석사학위논문, 중앙대학교, 2000.
7. 한국건설기술연구원, '98 교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구, 건설교통부, 1999.
8. 한국도로공사, 교량유지관리 시스템의 개발 및 운용(I), 1997.
9. Bull, J. W., Life Cycle Costing for Construction.

- Blackie Academic & Professional, London, 1993.
10. Ehlen, Mark A., Life-Cycle Costs of New Construction Materials. Journal of Infrastructure Systems, ASCE, Vol.3, No.4, pp.129-133, 1997.
 11. Ehlen, Mark A., Life-Cycle Costs of Fiber-Reinforced-Polymer Bridge Decks. Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol.11, No.3, pp.224-231, 1999.
 12. Fabrycky, W. J. and Blanchard, B. S., Life-Cycle Cost and Economic Analysis. Prentice Hall, New Jersey, 1991.
 13. Jelen, F. C. and Black, J. H., Cost and Optimization Engineering, McGraw Hill, New York, 1983.
 14. Nishikawa, K., A Concept of Minimized Maintenance Bridges. 橋梁と基礎, 97-8月, pp.64-72, 1997.
 15. Piringer, S., Whole-Life Costing of Steel Bridges. Bridge Management 2, Thomas Telford, London, pp.584-593, 1993.

Abstract

The purpose of this study is to evaluate economics by the Life Cycle cost(LCC) analysis of Steel Box Girder and Prestressed Box Girder bridge types. The study has been performed as a case study. A questionnaire survey for the repair and replacement cycle has been done in order to predict operation and maintenance costs. For LCC analysis and comparison, the present value technique is used. The results of this study are summarized as follows:

- (1) A LCC analysis model of Steel Box Girder and Prestressed Box Girder bridge types is suggested through a case study.
- (2) The repair and replacement cycle of elements of them are investigated using a questionnaire survey.
- (3) As a result of LCC case study, the type of Prestressed Box Girder bridge is analyzed more economic than Steel Box Girder.

Keywords : Life Cycle Cost, Steel Box Girder, Prestressed Box Girder, Repair Cycle, Replacement Cycle
